

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :

H02J 3/38, 3/36

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 97/45908

(43) Internationales

Veröffentlichungsdatum:

4. Dezember 1997 (04.12.97)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/DE97/01008

(22) Internationales Anmeldedatum:

20. Mai 1997 (20.05.97)

(30) Prioritätsdaten:

196 20 906.4

24. Mai 1996 (24.05.96)

DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS  
AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2,  
D-80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KARLECIC-MAIER,  
Franz [DE/DE]; T-Riemenschneider-Strasse. 63, D-91315  
Höchstadt (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH  
DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT  
SE).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

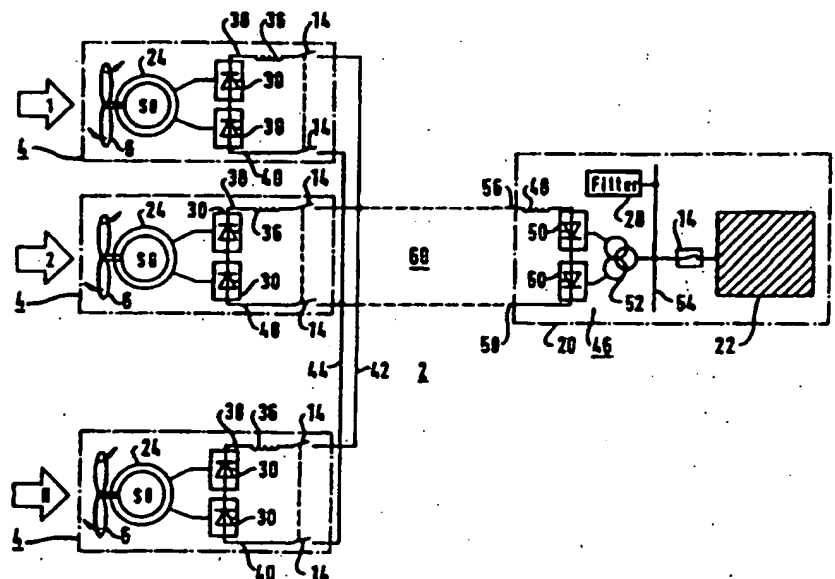
Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassener  
Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen  
eintreffen.

(54) Title: WIND POWER SITE

(54) Bezeichnung: WINDENERGIEPARK

(57) Abstract

The invention concerns a wind power site (2) which comprises at least two wind power plants (4) and a line-side power converter station (46), each wind power plant (4) comprising a rotor (6), a generator (24), a rectifier (30), a smoothing choke (36) and an output-regulating arrangement (62). The line-side power converter station (46) comprises a smoothing choke (48), a power inverter (50), a matching transformer (52), a filter (28) and a regulating arrangement (102), the wind power plants (4) being electrically connected in parallel on the direct current side, and the line-side power converter station (46) being electrically connected in series on the direct current side to the wind power plants (4) connected in parallel on the direct current side. In this way, a wind power site (2) is obtained whose entire available wind power output can be transferred into a regional supply network.



### (57) Zusammenfassung

Die Erfindung bezieht sich auf einen Windenergiepark (2). Erfindungsgemäß weist dieser Windenergiepark (2) wenigstens zwei Windenergieanlagen (4) und eine netzseitige Stromrichterstation (46) auf, wobei jede Windenergieanlage (4) einen Rotor (6), einen Generator (24), einen Gleichrichter (30), eine Glättungsdrossel (36) und eine Einrichtung (62) zur Leistungsregelung aufweist, wobei die netzseitige Stromrichterstation (46) eine Glättungsdrossel (48), einen Wechselrichter (50), einen Anpaßtransformator (52), einen Filter (28) und eine Regelanordnung (102) aufweist, wobei die Windenergieanlagen (4) gleichstromseitig elektrisch parallel geschaltet und wobei die netzseitige Stromrichterstation (46) gleichstromseitig mit den gleichstromseitig parallel geschalteten Windenergieanlagen (4) elektrisch in Reihe geschaltet ist. Somit erhält man einen Windenergiepark (2), dessen gesamte zur Verfügung stehende Windenergieleistung in ein regionales Versorgungsnetz übertragen werden kann.

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Beschreibung

## Windenergiepark

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf einen Windenergiepark.

Die Einspeisung der mit dem stochastischen Primärenergie-  
träger Wind erzeugten Elektroenergie in ein regionales  
Versorgungsnetz ist nicht unproblematisch. Aus dem Aufsatz  
10 „Bedingungen für den Anschluß von Windenergieanlagen an ein  
regionales Elektroenergie-Versorgungsnetz“, abgedruckt in der  
DE-Zeitschrift „ELEKTRIE“, Berlin 49 (1995) 5/6/7, Seiten 249  
bis 253 ergeben sich die technischen Anforderungen für Wind-  
energieparks. Die in diesem Aufsatz aufgestellten Anforde-  
15 rungen an die Windenergieanlagen beziehen sich auf Leistungs-  
oder Spannungsänderungen, Leistungsschwankungen, Netzflicker  
und machen Angaben zu den Netzkurzschlußkriterien eines Wind-  
energieparks.

- 20 Die Spannungsanhebung an der Windenergiepark-Einspeisestelle  
in das regionale Versorgungsnetz darf, entsprechend einer  
Normvorschrift, nicht mehr als 4 % betragen. Aus dieser  
Forderung ergibt sich eine maximal mögliche Energieleistung  
in Abhängigkeit von der Entfernung zum einspeisenden Umspann-  
25 werk des regionalen Versorgungsnetzes. Für das in diesem  
Aufsatz dargestellte Windenergieanlagenkonzept wird die  
Energie der einzelnen zu einem Windenergiepark gehörenden  
Windenergieanlagen über eine Drehstromleitung oder ein Dreh-  
stromkabel bis zum Umspannwerk des regionalen Netzes über-  
30 tragen. Dadurch kann es zu der bereits genannten Limitierung  
der Anschlußleistung des Windenergieparks kommen, obwohl die  
gesamte zur Verfügung stehende Windenergieleistung des Wind-  
energieparks größer ist.

- 35 Die Windenergieanlagen-Leistungsschwankungen sind gemäß  
Richtlinien für das Mittelspannungsnetz auf maximal 2 % und  
für das Niederspannungsnetz auf maximal 3 % begrenzt. Eine

derartige Forderung kann nur von Windenergieanlagen erfüllt werden, die eine Leistungsregelung haben, wobei diese Leistungsregelung jedoch sehr langsam ist, weil sie mit einer sogenannten "Pitch-Regelung" realisiert wird, die über die Rotorblattverstellung wirkt.

- Ein weiterer Störfaktor sind die Oberschwingungen, die vor allem im Einspeisestrom der netzseitigen Wechselrichter vorkommen. Diese sind mit geeigneten Filtern zu kompensieren.
- Bei langen Kabelleitungen kann es im Mittelspannungsnetz zu Resonanzen zwischen der Kabelkapazität und der Kurzschlußreaktanz der Anlage kommen. Bei Asynchrongeneratoren können keine Oberschwingungen auftreten.
- Ein weiterer Störfaktor ist das Flicker-Problem. Durch Leistungsschwankungen entstehen Schwankungen in der Versorgungsspannung. Diese Spannungsschwankungen verursachen unter anderem Helligkeitsschwankungen in Glühlampen und Leuchtstofflampen, die auch "Flicker" genannt werden. Da das menschliche Auge sehr empfindlich auf diese "Flicker" reagiert, müssen der Höhe und Häufigkeit der Spannungsschwankungen enge Grenzen gesetzt werden. Dieses Flicker-Problem kann nur dann reduziert werden, wenn zwischen dem Aggregat, bestehend aus Rotor und Generator, und einem Mittelspannungsnetz ein Zwischenkreis kombiniert mit einer Leistungsregelung vorhanden ist. Wie bereits festgestellt, ist die Windenergieanlagen-Leistungsregelung langsam. Da auch ein Parallelbetrieb der Windenergieanlagen bei einem Windenergiepark vorseht, kann sehr schwer die Interferenz der Einzel-Flicker im Mittelspannungsnetz vorausgesagt bzw. unterdrückt werden.

Die FIG 1 zeigt ein bekanntes Konzept eines Windenergieparks 2 mit N Windenergieanlagen 4. Jede Windenergieanlage 4 weist einen Rotor 6, ein Getriebe 8, einen Asynchrongenerator 10 und einen Anpaßtransformator 12 auf. Jede Windenergieanlage 4 ist mittels eines Leistungsschalters 14 mit einer Sammelschiene 16 elektrisch leitend verbunden, die mittels einer

Drehstromleitung 18 mit einem Umspannwerk 20 eines regionalen Versorgungsnetzes 22, beispielsweise eines Mittelspannungsnetzes, verknüpft ist. Auch diese Drehstromleitung 18 ist über Leistungsschalter 14 freischaltbar. Dieses Konzept ist zwar preisgünstig, jedoch technisch nicht sehr zuverlässig, da beispielsweise zusätzlich ein Getriebe 8 verwendet wird. Der Vorteil des Asynchrongenerators 10 ist, daß er keine Oberschwingungen produziert. Jedoch spielt bei dem Asynchrongenerator 10 die Spannungsänderung eine große Rolle. Dabei kann es passieren, daß Windenergieanlagen 4 mit einer geringeren als geplanten Leistungen ans Netz gehen dürfen oder daß die einzuspeisende Leistung begrenzt werden muß.

Die FIG 2 zeigt ebenfalls ein bekanntes Konzept eines Windenergieparks 2 mit N Windenergieanlagen 4. Jede Windenergieanlage 4 weist einen Rotor 6, einen Synchrongenerator 24, einen Umrichter 26, einen Anpaßtransformator 12 und einen Filter 28 auf. Jede Windenergieanlage 4 ist wie beim Windenergieparkkonzept gemäß FIG 1 mittels Leistungsschalter 14 mit einer Sammelschiene 16 verbunden, die über eine Drehstromleitung 18 mit einem Umspannwerk 20 eines regionalen Versorgungsnetzes 22 verknüpft ist. Der Umrichter 26 weist eingangsseitig einen mehrpulsigen, beispielsweise 12-pulsigen, Gleichrichter 30 und ausgangsseitig einen mehrpulsigen, beispielsweise 12-pulsigen, Puls-Wechselrichter 32 auf, wobei der Gleichrichter 30 und der Puls-Wechselrichter 32 mittels eines Gleichspannungs-Zwischenkreises 34 verbunden ist.

Gegenüber der Windenergieanlage 4 gemäß der FIG 1 ist bei dieser Windenergieanlage 4 der Rotor 6 direkt mit dem Synchrongenerator 24 verbunden und die Rotorblätter dieses Rotors 6 sind verstellbar. Diese Verstellbarkeit der Rotorblätter des Rotors 6 ist durch Pfeile gekennzeichnet. Der Synchrongenerator 24 weist zwei um  $30^\circ$  elektrisch zueinander versetzte Ständerwicklungen auf, die jeweils mit einem Teilgleichrichter des Gleichrichters 30 verknüpft sind.

Um die Oberschwingungsströme des Puls-Wechselrichters 32 zu kompensieren, sind entsprechende Filter 28 vorgesehen. Da bei diesen Windenergieanlagen 4 zwischen dem Aggregat, bestehend aus Rotor 6 und Synchrongenerator 24, und dem regionalen Versorgungsnetz 22 ein Gleichspannungs-Zwischenkreis 34 und eine langsame Leistungsregelung durch die verstellbaren Rotorblätter vorhanden ist, kann das Flicker-Problem reduziert werden. Jedoch kann die Interferenz der Einzel-Flicker im regionalen Versorgungsnetz nur sehr schwer vorausgesagt bzw. unterdrückt werden.

Diese bekannten Konzepte für Windenergieparks 2 sind alle dezentrale Drehstrom-Konzepte, weil die Energie der einzelnen Windenergieanlagen 4 in das regionale Versorgungsnetz 22 eingespeist wird. Da die Spannungsanhebung an der Windenergiepark-Einspeisestelle in das regionale Versorgungsnetz 22 nicht mehr als 4 % betragen darf, ergibt sich eine maximal mögliche Windenergieleistung in Abhängigkeit von der Entfernung der Windenergiepark-Einspeisestelle vom Umspannwerk 20. D.h., ein Großteil der mit den Windenergieanlagen 4 erzeugten Leistung kann nicht in ein regionales Versorgungsnetz 22 eingespeist werden.

Der Erfindung liegt nunmehr die Aufgabe zugrunde, einen Windenergiepark mit mehreren Windenergieanlagen anzugeben, bei dem die bestehenden Nachteile der bekannten Konzepte für Windenergieparks nicht mehr auftreten.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

Dadurch, daß die Windenergieanlagen eines Windenergieparks gleichstromseitig elektrisch parallel geschaltet sind, werden nicht mehr gemäß der Anzahl der Windenergieanlagen mehrere Wechselrichter benötigt, sondern nur noch eine netzseitige Stromrichterstation, die einen Wechselrichter aufweist. Dieser Wechselrichter der netzseitigen Stromrichterstation

ist gleichstromseitig mit dem gleichstromseitig parallel geschalteten Windenergieanlagen elektrisch in Reihe geschaltet. Dadurch erhält man ein Gleichstromkonzept für einen Windenergiepark.

5

Dieses vorgeschlagene Gleichstrom-Konzept basiert auf der Erkenntnis, daß alle Anforderungen an Windenergieparks bezüglich Leistungs- oder Spannungsänderungen, Leistungsschwankungen, Netz-Flicker und Netz-Kurzschluß-Kriterien von der am Windenergiepark-Anschlußort vorhandene Netzkurzschlußleistung abhängen. Je höher die Netzkurzschlußleistung am Anschlußort ist, um so leichter werden die Anforderungen von Windenergiepark erfüllt.

15 Weil die Gleichstrom-Übertragung den Windenergiepark elektrisch bis zum Wechselrichter der netzseitigen Stromrichterstation bringt, ist ein Gleichstrom-Konzept dem bekannten Drehstrom-Konzepten technisch überlegen, da die netzseitige Stromrichterstation näher oder direkt am Umspannwerk des regionalen Versorgungsnetzes, d.h. am Anschlußort mit der höheren oder höchsten Netzkurzschlußleistung, installiert werden kann.

Bei dem erfindungsgemäßen Gleichstrom-Konzept des Windenergieparks wird die Energie über eine Gleichstrom-Leitung bis zum Wechselrichter der netzseitigen Stromrichterstation übertragen, dessen Standort wiederum so bestimmt werden kann, daß die gesamte zur Verfügung stehende Windenergieleistung in ein regionales Versorgungsnetz übertragen werden kann und sich gleichzeitig ein preisliches Optimum ergibt. Außerdem weist jede Windenergieanlage eine Leistungsregelung auf, die schnell ist, weil sie über den Steuerwinkel des Gleichrichters wirkt. Durch die Verschaltung der Windenergieanlagen im Gleichstrom-Zwischenkreis wird die Interferenz der Einzel-Flicker im Gleichstromkreis und nicht im regionalen Versorgungsnetz stattfinden. Weil der Wechselrichter der netzseitigen Stromrichterstation eine zentrale Energieüber-

gabestelle zum regionalen Versorgungsnetz darstellt und eine Drehstromspannungsregelung besitzt, wird der Flicker praktisch ausgeregelt. Außerdem kann das erfindungsgemäße Gleichstrom-Konzept eines Windenergieparks bei einer niedrigeren Kurzschlußleistung am Einspeiseort als die vergleichbaren Drehstrom-Konzepte betrieben werden.

Außerdem wird durch das erfindungsgemäße Konzept für einen Windenergiepark die zentrale Drehstrom-Spannungsregelung des Windenergieparks mit den schnellen dezentralen Windenergieanlagen-Leistungsregelungen kombiniert, wodurch den Energieversorgungsunternehmen eine erhebliche Verbesserung der Qualität der Energieeinspeisung aus Windenergieparks geboten wird.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Windenergieparks ist zwischen dem gleichstromseitig parallel geschalteten Windenergieanlagen und der netzseitigen Stromrichterstation eine Gleichstrom-Übertragungseinrichtung geschaltet. Durch diese Gleichstrom-Übertragungseinrichtung kann die netzseitige Stromrichterstation direkt an einem Umspannwerk eines regionalen Versorgungsnetzes errichtet werden, so daß die gesamte zur Verfügung stehenden Windenergieleistung in das regionale Versorgungsnetz eingespeist werden kann. So erhöht sich der Wirkungsgrad eines Windenergieparks wesentlich.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Windenergieparks weist jede Windenergieanlage einen Rotor mit verstellbaren Rotorblättern und eine Drehzahlregelung auf. Mittels dieser Drehzahlregelung wird erreicht, daß das Aggregat Rotor-Generator an der obersten erlaubten Leistungsgrenze (Maximalspannung) arbeitet, womit der Leistungs-Regelbereich jeder Windenergieanlage optimal ausgenutzt werden kann. Die Drehzahlregelung wirkt über die Rotorblattverstellung, wobei ein Drehzahl-Sollwert aus der Windgeschwindigkeit generiert wird.



Vorteilhafte Ausgestaltungen des Windenergieparks sind den Unteransprüchen 4 bis 15 zu entnehmen.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeichnung 5 bezug genommen, in der eine vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Windenergieparks schematisch veranschaulicht ist.

- FIG 1 zeigt ein erstes bekanntes Konzept eines Windenergieparks, 10
- FIG 2 zeigt ein zweites bekanntes Konzept eines Windenergieparks, in
- FIG 3 ist eine vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Konzeptes eines Windenergieparks dargestellt, 15 in
- FIG 4 wird die maximale Windenergieleistung in Abhängigkeit von der Windenergiepark-Entfernung zum Umspannwerk eines regionalen Versorgungsnetzes dargestellt, die
- FIG 5 zeigt ein Blockschaltbild einer Einrichtung zur Leistungsregelung und eine Drehzahlregelung einer Windenergieanlage, wobei die 20
- FIG 6 ein Blockschaltbild einer Regelanordnung der netzseitigen Stromrichterstation veranschaulicht, die
- FIG 7 zeigt in einem Diagramm den Leistungs-Regelbereich einer Windenergieanlage und die 25
- FIG 8 zeigt in einem Diagramm den Windenergiepark-Multiterminalbetrieb.

Die FIG 3 zeigt eine vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Konzeptes eines Windenergieparks 2. Dieser 30 Windenergiepark 2 weist N Windenergieanlagen 4 auf. Jede Windenergieanlage 4 weist einen Rotor 6, dessen Rotorblätter verstellbar sind, einen Synchrongenerator 24, einen Gleichrichter 30 und eine Glättungsdrossel 36 auf. Der Synchrongenerator 24 ist direkt mit dem Rotor 6 gekoppelt und weist 35 zwei 30° elektrisch zueinander versetzte Statorwicklungen auf, die jeweils mit einem Teilgleichrichter des Gleich-

richters 30 elektrisch leitend verbunden sind. Der Rotor 6 des Synchrongenerators 24 kann eine Permanentenerregung oder eine spannungsgeregelte Erregung aufweisen. Der Gleichrichter 30 ist mehrpulsig, beispielsweise 12-pulsig, ausgeführt. Die Glättungsdrossel 36 ist beispielsweise in der positiven Ausgangsleitung 38 angeordnet. Diese positive Ausgangsleitung 38 und eine negative Ausgangsleitung 40 sind jeweils mittels Leistungsschalter 14 von einer positiven und negativen Stromschiene 42 und 44 trennbar. Mittels dieser beiden Stromschiene 42 und 44 sind die N Windenergieanlagen 4 des Windenergieparks 2 gleichstromseitig parallel geschaltet.

Eine netzseitige Stromrichterstation 46 ist bei dieser Darstellung des Gleichstromkonzeptes des Windenergieparks 2 direkt bei dem Umspannwerk 20 eines regionalen Versorgungsnetzes 22 angeordnet. Diese netzseitige Stromrichterstation 46 weist eine Glättungsdrossel 48, einen Wechselrichter 50, einen Anpaßtransformator 52 und einen Filter 28 auf. Der Wechselrichter 50 besteht ebenso wie der Gleichrichter 30 einer jeden Windenergieanlage 4 aus zwei Teilwechselrichtern. Die Pulsigkeit des Wechselrichters 50 entspricht ebenfalls der Pulsigkeit der Gleichrichter 30. Jeder Teilwechselrichter ist mit einer Sekundärwicklung des Anpaßtransformators 52 elektrisch leitend verbunden, wobei dessen Primärwicklung mit einer Sammelschiene 54 des Umspannwerkes 20 verbunden ist. An dieser Sammelschiene 54 ist außerdem das Filter 28 angeschlossen. Die Glättungsdrossel 48 ist beispielsweise in der positiven Eingangsleitung 56 des Wechselrichters 50 angeordnet. Diese positive Eingangsleitung 56 und eine negative Eingangsleitung 58 sind mittels einer Gleichstrom-Übertragungseinrichtung 60 mit der positiven und negativen Stromschiene 42 und 44 der elektrisch parallel geschalteten Windenergieanlagen 4 elektrisch leitend verbunden. Die Gleichstrom-Übertragungseinrichtung 60, die zwei Gleichstromleitungen oder ein Gleichstromkabel sein kann, kann mittels nicht näher dargestellter Leistungsschalter 14 freigeschaltet werden. Bei dieser Konzeptdarstellung wurde

auf die Veranschaulichung von Einrichtungen 62 zur Leistungsregelung der Windenergieanlagen 4 und einer Regelanordnung 102 der netzseitigen Stromrichterstation 46 aus Übersichtlichkeitsergründen verzichtet. Die zugehörigen Blockschaltbilder dieser Einrichtung 62 zur Leistungsregelung und dieser Regelanordnung 102 sind in den FIG 5 und 6 dargestellt.

In der Darstellung der FIG 4 wird das bekannte Konzept gemäß FIG 2 und das erfindungsgemäße Konzept gemäß FIG 3 eines Windenergieparks 2 hinsichtlich der maximalen Windenergieleistung verglichen. Wie bereits eingangs erwähnt, hängt die im regionalen Versorgungsnetz 22 einzuspeisende Energie von der Entfernung zwischen den Windenergieanlagen 4 und der Einspeisestelle ab. Im oberen Teil dieser Darstellung ist das bekannte Drehstromkonzept veranschaulicht. Dieser Darstellung ist zu entnehmen, daß die einzuspeisende Energie ungefähr 1,5 MW beträgt, wobei die Windenergieanlagen 4 des Windenergieparks 2 von der Einspeisestelle 8 km entfernt ist. Im unteren Teil dieser Darstellung ist das erfindungsgemäße Gleichstrom-Konzept veranschaulicht. Dabei sind zwei Varianten dieses Gleichstrom-Konzepts dargestellt. Bei der ersten Variante ist die netzseitige Stromrichterstation 46 des Windenergieparks 2 mittig zwischen den Windenergieanlagen 4 und der Einspeisestelle angeordnet. Dabei ist die netzseitige Stromrichterstation 46 gleichstromseitig mittels einer Gleichstrom-Übertragungseinrichtung 60 mit den gleichstromseitigen parallel geschalteten Windenergieanlagen 4 und wechselstromseitig mittels einer Drehstromleitung 18 mit der Einspeisestelle verbunden. Bei der zweiten Variante ist die netzseitige Stromrichterstation 46 des Windenergieparks 2 direkt an die Einspeisestelle angeordnet. Die einzuspeisende Energie beträgt bei der ersten Variante ungefähr 2,86 MW und bei der zweiten Variante 6 MW. D.h., mit der zweiten Variante des Gleichstrom-Konzeptes eines Windenergieparks 2 kann annähernd die vierfache Leistung in ein regionales Versorgungsnetz 22 eingespeist werden als mit dem bekannten Dreh-

strom-Konzept eines Windenergieparks 2 gemäß FIG 2. Somit steigt auch der Wirkungsgrad annähernd um den Faktor 4.

Die FIG 5 zeigt das Ersatzschaltbild mit einer Windenergieanlage 4 des Windenergieparks 2 nach FIG 3 mit seiner zugehörigen Einrichtung 62 zur Leistungsregelung und einer Drehzahlregelanordnung 64. Diese Einrichtung 62 zur Leistungsregelung weist einen Sollwertgeber 66 mit einem vorgeschalteten Leistungssollwertgeber 68 und einer nachgeschalteten Vektorregleranordnung 70, dem eine Steuereinrichtung 72 nachgeschaltet ist, auf. Der Sollwertgeber 66 erhält als Eingangssignal einen Leistungs-Sollwert  $Po_r$  des vorgeschalteten Leistungssollwertgebers 68 und einen Gleichspannungs-Istwert  $Ud_r$ . Aus diesen Werten  $Po_r$  und  $Ud_r$  wird mittels des Sollwertgebers 66 ein Sollwertepaar  $Io_r$  und  $Uo_r$  für Strom und Spannung des Gleichrichters 30 der Windenergieanlage 4 ermittelt. Der Sollwertgeber 66 weist zwei Kennliniengeber 74 und 76 auf. Die für den Spannungs-Sollwert  $Uo_r$  gewählte Kurve des ersten Kennliniengebers 74 zeigt die VDVOC-Charakteristik (Voltage-Dependent-Voltage-Order-Characteristic), wobei am oberen Ende für den Bereich des stationären Betriebes als charakteristisches Merkmal ein bogenförmiger Verlauf vorgesehen ist. Der untere Bereich der Kennlinie ist spannungsbegrenzend ausgebildet. Die Kennlinie des zweiten Kennliniengebers 76 für den Strom-Sollwert  $Io_r$  weist im wesentlichen eine VDCOL-Charakteristik (Voltage-Depended-Current-Order-Limitation), d.h. spannungsabhängige Strombegrenzung, auf. Die Vektorregleranordnung 70 weist zwei Vergleicher 78 und 80, einen Addierer 82 und ein Regelglied 84 auf. Das gebildete Sollwertepaar  $Uo_r$ ,  $Io_r$  wird dieser Vektorregleranordnung 70 zugeführt und dort mit einem ermittelten Istwertepaar  $Ud_r$ ,  $Id_r$  mittels der beiden Vergleicher 78 und 80 verglichen. Die gebildeten Regelabweichungen für Strom und Spannung werden mittels des Addierers 82 aufsummiert. Dieses Summensignal wird dem Regelglied 84 zugeführt, an dessen Ausgang ein Steuersignal für die Steuer-

einrichtung 72 des Gleichrichters 30 der Windenergieanlage 4 ansteht.

Der Leistungssollwertgeber 68, der einen Leistungssollwert  $Po_r$  in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit  $V$  generiert, weist eingangsseitig einen Funktionsgeber 86 und einen Rampengeber 88 auf. Mittels des Funktionsgebers 86 wird aus der Windgeschwindigkeit  $V$  ein Leistungs-Sollwert  $Po_r$  generiert. Der Gradient der Leistungs-Sollwertänderung wird von einer Rampe des Rampengebers 88 bestimmt.

Die Drehzahlregleranordnung 64 weist eingangsseitig einen Funktionsgeber 90 mit nachgeschalteten Rampengebern 92 und eine Drehzahlregeleinrichtung 94 auf. Diese Drehzahlregeleinrichtung 94 besteht aus einem Vergleicher 96 und einem Drehzahlregler 98 mit nachgeschalteter Rotorblattregelung 100. Der Vergleicher 96 vergleicht einen ermittelten Rotor-drehzahl-Istwert  $n$  mit einem generierten Rotordrehzahl-Sollwert  $n_o$ . Dieser Drehzahl-Sollwert  $n_o$  wird windgeschwindigkeitsabhängig vom Funktionsgeber 90 geliefert. Der Gradient der Drehzahl-Sollwertänderung wird von einer Rampe des Rampengebers 92 bestimmt. Am Ausgang des Drehzahlreglers 98 steht ein Soll-Signal für die Rotorblattregelung 100 an. Am Ausgang dieser Rotorblattregelung 100 steht ein Steuer-Signal für den Verstellmechanismus der Rotorblätter an, wodurch die Rotorblätter derart verstellt werden, daß die mittels des Vergleichers 96 ermittelte Rotordrehzahl-Regelabweichung zu Null wird.

Die FIG 6 zeigt das Ersatzschaltbild der netzseitigen Stromrichterstation 46 des Windenergieparks 2 gemäß FIG 3 mit seiner zugehörigen Regelanordnung 102. Diese Regelanordnung 102 weist eine Einrichtung 104 zur Ermittlung eines Leistungs-Sollwertes  $Po_i$ , eine Einrichtung 106 zur Ermittlung eines Löschwinkel-Zusatz-Sollwertes  $\gamma_o_{add}$ , einen Sollwertgeber 108, eine Vektorregleranordnung 110 und eine Steuereinrichtung 72 auf. Diese Regelanordnung 102 ist analog

zu dem der Einrichtung 62 zur Leistungsregelung einer Wind-  
energieanlage 4 aufgebaut. Eine weitere Beschreibung dieser  
Regelanordnung 102 erübrigt sich daher. Unterschiede liegen  
in der Anzahl der dem Sollwertgeber 108 zugeführten Werte,  
5 den Kennlinien der beiden Kennliniengeber 112 und 114 und der  
Einrichtung 104 zur Ermittlung eines Leistungs-Sollwertes  
 $Po_i$ . Aufgrund der Varianz der Eingangsgrößen (Spannungs-Ist-  
wert  $Ud_i$ , Leistungs-Istwert  $Pd_i$ , Leistungs-Sollwert  $Po_i$ ,  
Löschwinkel-Sollwert  $\gamma_o$ , Löschwinkel-Istwert  $\gamma$ , Steuerwinkel  
10  $\beta$ ) muß die Kennlinie, insbesondere die VDVOC-Charakteristik  
des Kennliniengebers 112 in seiner Höhe im Endbereich und in  
seiner Neigung vorgebar sein. Auch die VDCOL-Charakteristik  
des Kennliniengebers 114 ist einstellbar. Wesentlichen für  
den zweiten Sollwertgeber 108 ist, daß auch ein Löschwinkel-  
15 Sollwert  $\gamma_o$  vorgegeben ist, der einzuhalten ist. Das erzeugte  
Sollwertepaar  $Uo_i$ ,  $Io_i$  wird mittels zweier Vergleicher 78  
und 80 mit einem ermittelten Istwertepaar  $Ud_i$ ,  $Id_i$  ver-  
glichen. Die gebildeten Regelabweichungen werden mittels des  
Addierers 82 voneinander subtrahiert, da der Spannungs-Soll-  
20 wert  $Uo_i$  des Sollwertepaares  $Uo_i$ ,  $Io_i$  am invertierenden  
Eingang des Vergleichers 78 ansteht. Das Differenzsignal wird  
dem nachgeschalteten Regelglied 84 zugeführt, an dessen  
Ausgang ein Winkelsignal für die Steuereinrichtung 72 der  
netzseitigen Stromrichterstation 46 ansteht. Mittels diesem  
25 Winkelsignal wird die Differenz der Regelabweichung für Strom  
und Spannung zu Null geregelt.

Die Einrichtung 104 zur Ermittlung eines Leistungs-Sollwertes  
 $Po_i$  weist ein Verzögerungsglied 116 erster Ordnung mit einer  
30 oberen und einer unteren Grenze auf. Dieser Einrichtung 104  
wird ein ermittelter Leistungs-Istwert  $Pd_i$  und ein oberer  
und unterer Leistungs-Grenzwert  $Pgo_i$  und  $Pgu_i$  zugeführt. Am  
Ausgang dieser Einrichtung 104 steht ein Leistungs-Sollwert  
 $Po_i$  an.

Diese Regelanordnung 102 weist eine Einrichtung 106 zur Ermittlung eines Löschwinkel-Zusatz-Sollwertes  $\gamma_{o\_add}$  auf. Diese Einrichtung 106 weist eingangsseitig einen Vergleicher 118 und ausgangsseitig einen PI-Regler 120 auf. Mittels  
5 dieses Vergleichers 118 wird in Abhängigkeit eines Drehspannungs-Sollwertes  $U_{o\_ac}$  und eines ermittelten Drehspannungs-Istwertes  $U_{ac}$  eine Drehspannungs-Regelabweichung ermittelt, die dem nachgeschalteten PI-Regler 120 zugeführt wird. Am Ausgang dieses PI-Reglers 120 steht ein Löschwinkel-Zusatz-Sollwert  $\gamma_{o\_add}$  an. Damit der Löschwinkel  $\gamma_o$  über den Sollwertgeber 108 nur innerhalb eines vorbestimmten Bereiches verändert werden kann, ist der PI-Regler 120 mit einem unteren Grenzwert Null und einem oberen Grenzwert  $\max \gamma_{o\_add}$  versehen. Der Löschwinkel-Sollwert  $\gamma_o$  setzt sich aus einem  
10 minimalen Löschwinkel-Sollwert  $\gamma_{o\_min}$  und dem ermittelten Löschwinkel-Zusatz-Sollwert  $\gamma_{o\_add}$ , wobei ein Addierer 122 vorgesehen ist.

Diese in der FIG 5 beschriebene Einrichtung 62 zur Leistungsregelung einer Windenergieanlage 4 eines Windenergieparks 2 und der FIG 6 der beschriebenen Regelanordnung 102 der netzseitigen Stromrichterstation 46 eines Windenergieparks 2 sind aus der älteren deutschen Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 195 44 777.8 und dem Titel "Verfahren und Vorrichtung  
20 zur Regelung von n Stromrichterstationen eines HGÜ-Mehrpunktnetzes" bekannt. In dieser älteren deutschen Patentanmeldung sind die Einrichtung 62 zur Leistungsregelung und die Regelanordnung 102 und ihre Wirkungsweise ausführlich beschrieben, so daß an dieser Stelle darauf verzichtet werden kann.

30 In der FIG 7 ist in einem Diagramm Gleichspannung  $U_d$ -Gleichstrom  $I_d$  der Leistungs-Regelbereich einer Windenergieanlage 4 eines Windenergieparks 2 gemäß FIG 3 dargestellt. Das Aggregat, bestehend aus Rotor 6 und Generator 24, einer  
35 Windenergieanlage 4 hat eine windgeschwindigkeitsabhängige "obere" und "untere" Leistungsbegrenzung. Die obere Leistungsbegrenzung ist von der Maximalspannung bestimmt, die

das Aggregat an der Generatorklemme zur Verfügung stellen kann. Die untere Leistungsbegrenzung ist vom Maximalstrom bestimmt.

- 5 Die windgeschwindigkeitsabhängigen oberen und unteren Leistungsbegrenzungen werden "gleichgerichtet" als Gleichstromgrößen im Ud/Id-Diagramm dargestellt. Sie bestimmen den Leistungs-Regelbereich der Windenergieanlage 4. Die Charakteristik des Leistungsreglers im Ud/Id-Diagramm ist ein
- 10 Hyperbel, die für hohe Spannungen von der oberen Leistungsbegrenzung (Maximalspannung) und für niedrige Spannung von der unteren Leistungsbegrenzung (Maximalstrom) limitiert wird.
- 15 Die Leistungsregelung ist eine kombinierte Spannungs-/Strom-Regelung und wirkt über den Steuerwinkel des Gleichrichters. Die Kennliniengeber 74 und 76 des Sollwertgebers 66 der Einrichtung 62 zur Leistungsregelung sind so abgestimmt, daß das nachgeschaltete Regelglied 84 im normalen Arbeitsbereich
- 20 der Leistungshyperbel und bei reduzierter Spannung der unteren Leistungsbegrenzung im Ud/Id-Diagramm folgt. Der Leistungs-Regelbereich der Windenergieanlage 4 kann optimal ausgenutzt werden, wenn das Aggregat - Rotor 6, Generator 24 - an der oberen erlaubten Leistungsbegrenzung
- 25 (Maximalspannung) arbeitet. Die Maximalspannung wird mit der Drehzahlregelung 64 erreicht, die über die Rotorblattverstellung wirkt.

- Die Regelanordnung 102 gemäß FIG 6 ist für die netzseitige
- 30 Stromrichterstation 46 des Windenergieparks 2 gemäß FIG 3 eine Widerstandsregelung mit überlagerter Drehstrom-Spannungsregelung, die über den Steuerwinkel des Wechselrichters 50 wirkt. Die überlagerte Drehstrom-Spannungsregelung ändert den Löschwinkel-Sollwert  $\gamma_0$  so, daß die unterlagerte Wider-
- 35 standsregelung den Arbeitspunkt auf der Leistungshyperbel ansteuert, für den auch die Drehstrom-Spannung geregelt wird. Die schnelle, über den Steuerwinkel wirkende Drehstrom-Span-



- nungsregelung kann ergänzt werden mit einer langsamen Stufenschalterregelung, für den Anpaßtransformator 52, die eine grobe Drehstrom-Spannungsregelung vornimmt. Sie ist eine ideelle Leerlaufgleichspannungs-Regelung. Dabei wird der
- 5 Sollwert der Stufenschalterregelung über einen Zusatzwert so verändert, daß die über Steuerwinkel wirkende Regelung möglichst immer unbegrenzt und in der Mitte des Steuerbereiches  $\alpha_{\max_i}$  und  $\alpha_{\min_i}$  arbeiten kann.
- 10 Die FIG 8 zeigt beispielhaft einen Windenergiepark-Multi-terminalbetrieb. Der Widerstandsregler mit der überlagerten Drehstrom-Spannungsregelung bestimmt den Arbeitspunkt AW für den Wechselrichter 50 der netzseitigen Stromrichterstation 46, für den die zu übertragende Leistung  $P_{wr}$  und die Dreh-
- 15 strom-Spannung eingehalten werden. Die Arbeitspunkte AG1, AG2 und AG3 der Gleichrichter 30 der Windenergieanlagen 4 ergeben sich aus der Topologie des Gleichstrom-Systems (Kirchhoff'sche Gesetz, Maschengleichung und Energieerhaltungssatz) und dem Wirken der Windenergieanlagen-Leistungsregelung
- 20 automatisch. Die Windenergieanlagen-Leistungsregler suchen die Arbeitspunkte AG1, AG2 und AG3 auf deren Leistungshyperbeln, die die obengenannten Gesetze einhalten.
- Dieses erfindungsgemäße Gleichstromkonzept für einen Wind-
- 25 energiepark 2 reduziert nicht nur die Anzahl der Komponenten (anstelle von N Wechselrichtern nur noch ein Wechselrichter), es kann zu weiteren Einsparungen führen, wenn die Drehstromleitungen 18 zwischen Ausgang der netzseitigen Stromrichterstation 46 und einem Netzeinspeisepunkt durch eine Gleich-
- 30 strom-Übertragungseinrichtung 60 ersetzt wird. Für eine derartige Leistungsübertragung wäre es ratsam, die Spannung der Generatoren 24 der Windenergieanlagen 4 von z.Zt. 690 V auf deren sonst aus der Energieerzeugung üblichen Spannungswerten von 6-10 kV zu erhöhen. Wenn die Erde als Rückleiter
- 35 benutzt werden darf, wird nur eine Gleichstromleitung als Gleichstrom-Übertragungseinrichtung 60 benötigt, wodurch sich der Preisvorteil ausbaut.

Die zentrale Drehstrom-Spannungsregelung des Windenergieparks  
2 kombiniert mit den schnellen dezentralen Windenergie-  
anlagen-Leistungsregelungen bieten den Energieversorgungs-  
unternehmen eine wesentliche Verbesserung der Qualität der  
5 Energieeinspeisung aus Windenergieparks 2..

## Patentansprüche

1. Windenergiepark (2) mit wenigstens zwei Windenergieanlagen (4) und einer netzseitigen Stromrichterstation (46), wobei  
5 jede Windenergieanlage (4) einen Rotor (6), einen Generator (24), einen Gleichrichter (30), eine Glättungsdrossel (36) und eine Einrichtung (62) zur Leistungsregelung aufweist, wobei die netzseitige Stromrichterstation (46) eine Glättungsdrossel (48), einen Wechselrichter (50), einen  
10 Anpaßtransformator (52), einen Filter (28) und eine Regelanordnung (102) aufweist, wobei diese Windenergieanlagen (4) gleichstromseitig elektrisch parallel geschaltet sind und wobei die netzseitige Stromrichterstation (46) gleichstromseitig mit den gleichstromseitig parallel geschalteten  
15 Windenergieanlagen (4) elektrisch in Reihe geschaltet ist.
2. Windenergiepark (2) nach Anspruch 1, wobei zwischen den gleichstromseitig parallel geschalteten Windenergieanlagen (4) und der netzseitigen Stromrichterstation (46) eine  
20 Gleichstromübertragungseinrichtung (60) geschaltet ist.
3. Windenergiepark (2) nach Anspruch 1, wobei jede Windenergieanlage (4) einen Rotor (6) mit verstellbaren Rotorblättern und eine Drehzahlregelanordnung (64) aufweist.  
25
4. Windenergiepark (2) nach Anspruch 1, wobei die Einrichtung (62) zur Leistungsregelung einer Windenergieanlage (4) einen Sollwertgeber (66) mit einem vorgeschalteten Leistungs-Sollwertgeber (68) und einer nachgeschalteten Vektorregleranordnung (70), der eine Steuereinrichtung (72) nachgeschaltet  
30 ist, aufweist, wobei dem Sollwertgeber (66) zusätzlich ein Spannungs-Istwert ( $U_{d\_r}$ ), der Vektorregelung (70) zusätzlich ein ermitteltes Istwertepaar ( $I_{d\_r}$ ,  $U_{d\_r}$ ) für Strom und Spannung und dem Leistungs-Sollwertgeber (68) ein Windgeschwindigkeits-Istwert ( $V$ ) zugeführt sind und wobei am  
35 Ausgang der Steuereinrichtung (72) ein Steuersignal für den

Gleichrichter (30) einer Windenergieanlage (4) zur Verfügung steht.

5 5. Windenergiepark (2) nach Anspruch 1, wobei die Regelanordnung (102) der netzseitigen Stromrichterstation (46) eine Einrichtung (104) zur Ermittlung eines Leistungs-Sollwertes ( $P_{o\_i}$ ), eine Einrichtung (106) zur Ermittlung eines Löschkinkel-Zusatz-Sollwertes ( $\gamma_{o\_add}$ ), einen Sollwertgeber (108), eine Vektorregleranordnung (110) und eine Steuereinrichtung (72) aufweist, wobei die der Einrichtung (104) zur Ermittlung eines Leistungs-Sollwertes ( $P_{o\_i}$ ) ein ermittelter Leistungs-Istwert ( $P_{d\_i}$ ) und ein oberer und unterer Leistungs-Grenzwert ( $P_{go\_i}$ ,  $P_{gu\_i}$ ), dem Sollwertgeber (108) ein Leistungs-Soll- und -Istwert ( $P_{o\_i}$ ,  $P_{d\_i}$ ), ein Löschkinkel-Soll- und -Istwert ( $\gamma_o$ ,  $\gamma$ ), ein Spannungs-Istwert ( $U_{d\_i}$ ) und ein Steuersignal ( $\beta$ ), der Vektorregleranordnung (110) ein ermitteltes Istwertepaar ( $I_{d\_i}$ ,  $U_{d\_i}$ ) für Strom und Spannung und der Einrichtung (106) zur Ermittlung eines Löschkinkel-Zusatz-Sollwertes ( $\gamma_{o\_add}$ ), ein Drehspannungs-Soll- und -Istwert ( $U_{o\_ac}$ ,  $U_{ac}$ ) zugeführt sind und wobei am Ausgang der Steuereinrichtung (72) ein Steuersignal für den Wechselrichter (50) der netzseitigen Stromrichterstation (46) zur Verfügung steht.

25 6. Windenergiepark (2) nach Anspruch 4, wobei der Leistungs-Sollwertgeber (68) der Einrichtung (62) zur Leistungsregelung einer Windenergieanlage (4) einen Funktionsgeber (86) mit nachgeschaltetem Rampengeber (88) aufweist.

30 7. Windenergiepark (2) nach Anspruch 4 oder 5, wobei der Sollwertgeber (66, 108) zwei Kennliniengeber (74, 76; 112, 114) für das Sollwertepaar ( $U_{o\_r}$ ,  $I_{o\_r}$ ;  $U_{o\_i}$ ,  $I_{o\_i}$ ) für Strom und Spannung aufweist.

35 8. Windenergiepark (2) nach Anspruch 4 oder 5, wobei die Vektorregleranordnung (70, 110) zwei Vergleicher (78, 80), ein Addierglied (82) und ein Regelglied (84) aufweist, wobei

jeweils ein Ausgang eines Vergleichers (78,80) mit dem Addierglied (82) verknüpft ist, dessen Ausgang mit dem Eingang des Regelgliedes (84) verbunden ist.

5 9. Windenergiepark (2) nach Anspruch 5, wobei die Einrichtung  
(104) zur Ermittlung eines Leistungs-Sollwertes ( $Po_i$ ) der  
Regelanordnung (102) des Wechselrichters (50) der netz-  
seitigen Stromrichterstation (46) ein Verzögerungsglied (116)  
erster Ordnung mit einer oberen und unteren Grenze ( $Pgo_i$ ,  
10  $Pgu_i$ ) aufweist.

10. Windenergiepark (2) nach Anspruch 5, wobei die  
Einrichtung (106) zur Ermittlung eines Löschwinkel-Zusatz-  
Sollwertes ( $\gamma o_{add}$ ) der Regelanordnung (102) des Wechsel-  
15 richters (50) der netzseitigen Stromrichterstation (46) einen  
Vergleicher (118) mit nachgeschalteten PI-Regler (120)  
aufweist, wobei am nichtinvertierenden Eingang des  
Vergleichers (118) ein Drehspannungs-Sollwert ( $Uo_{ac}$ ), an  
seinem invertierenden Eingang ein Drehspannungs-Istwert ( $Uac$ )  
20 und am Ausgang des PI-Reglers (120) der Löschwinkel-Zusatz-  
Sollwert ( $\gamma o_{add}$ ) anstehen.

11. Windenergiepark (2) nach Anspruch 3, wobei die Drehzahl-  
regelanordnung (64) eingangsseitig einen Funktionsgeber (90)  
25 mit nachgeschalteten Rampengeber (92) aufweist, dem eine  
Drehzahlregeleinrichtung (94) bestehend aus einem Vergleicher  
(96) und einem Drehzahlregler (98), mit nachgeschalteter  
Rotorblatt-Regelung (100) nachgeschaltet ist, wobei dem  
Vergleicher (96) der Drehzahlregeleinrichtung (94) ein Rotor-  
30 drehzahl-Soll- und -Istwert ( $n_o$ ,  $n$ ) zugeführt ist.

12. Windenergiepark (2) nach Anspruch 2, wobei als Gleich-  
strom-Übertragungseinrichtung (60) eine Gleichstromleitung  
vorgesehen ist.

13. Windenergiepark (2) nach Anspruch 3, wobei als Gleichstrom-Übertragungseinrichtung (60) im Gleichstromkabel vorgesehen ist.
- 5 14. Windenergiepark (2) nach Anspruch 1, wobei als Generator (24) eine Synchronmaschine vorgesehen ist.
- 10 15. Windenergiepark (2) nach Anspruch 1, wobei die Synchronmaschine zwei  $30^\circ$ el zueinander versetzte Ständerwicklungen aufweist.

1/8

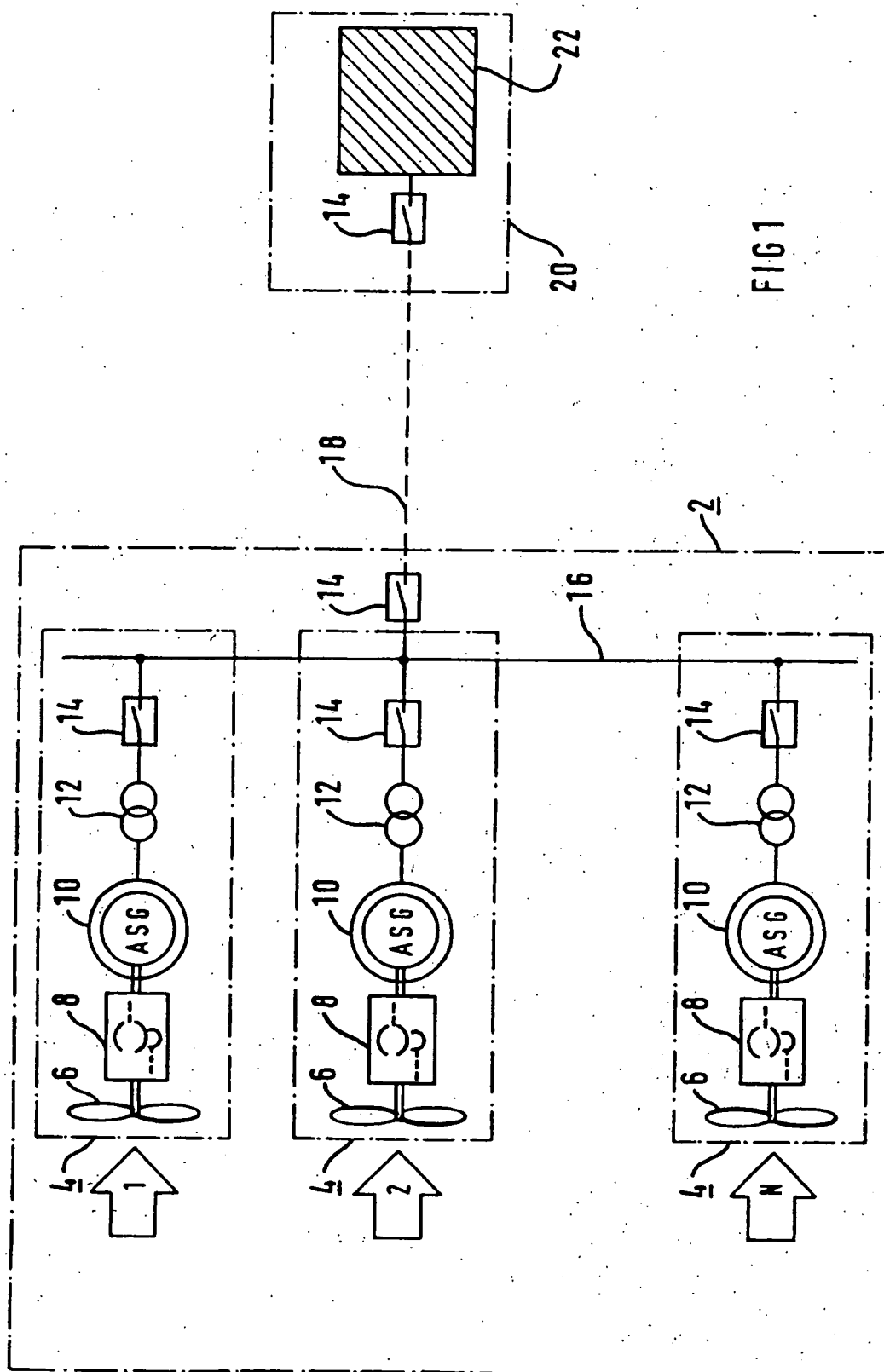


FIG 1

2/8

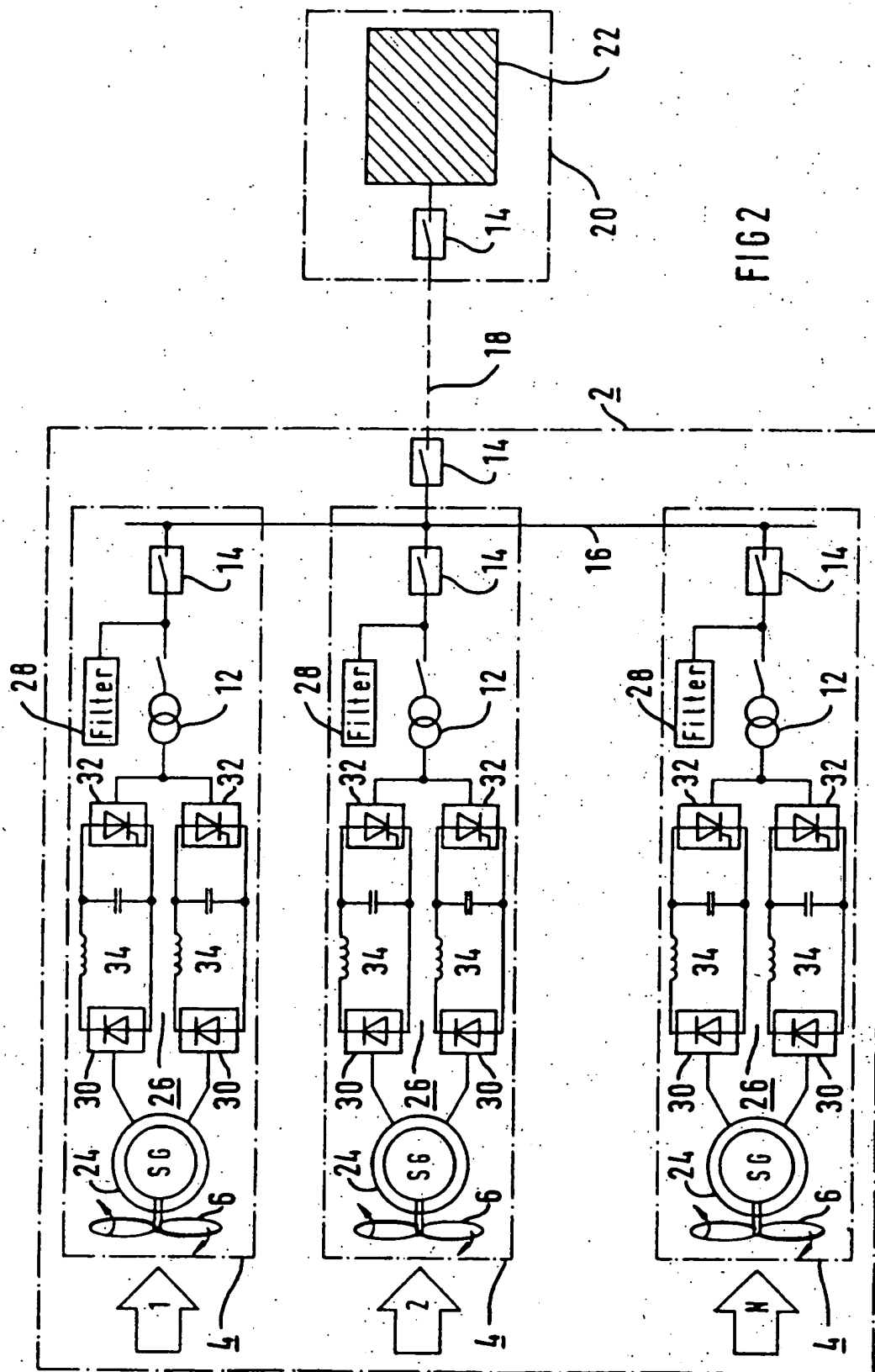


FIG 2



3/8

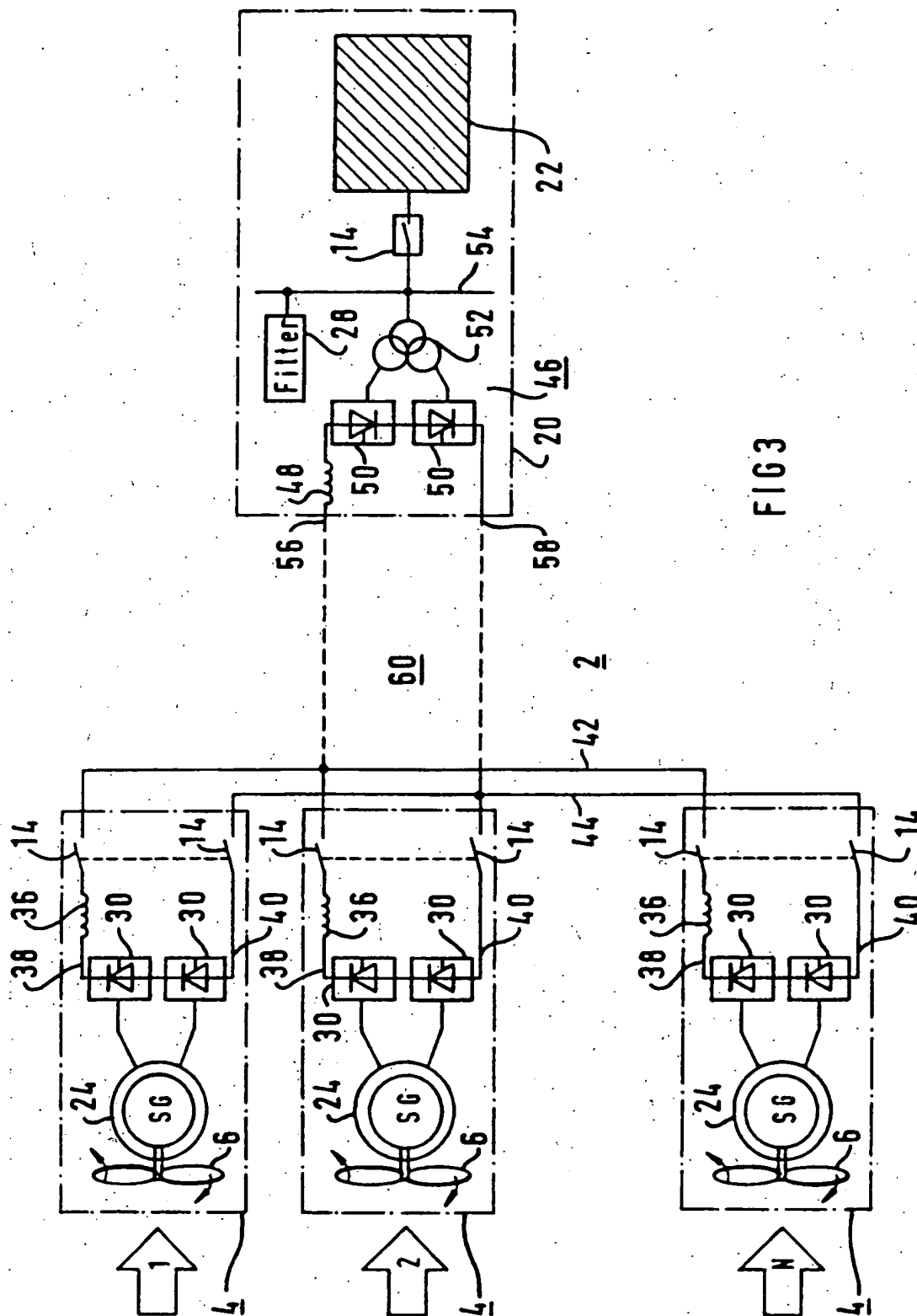
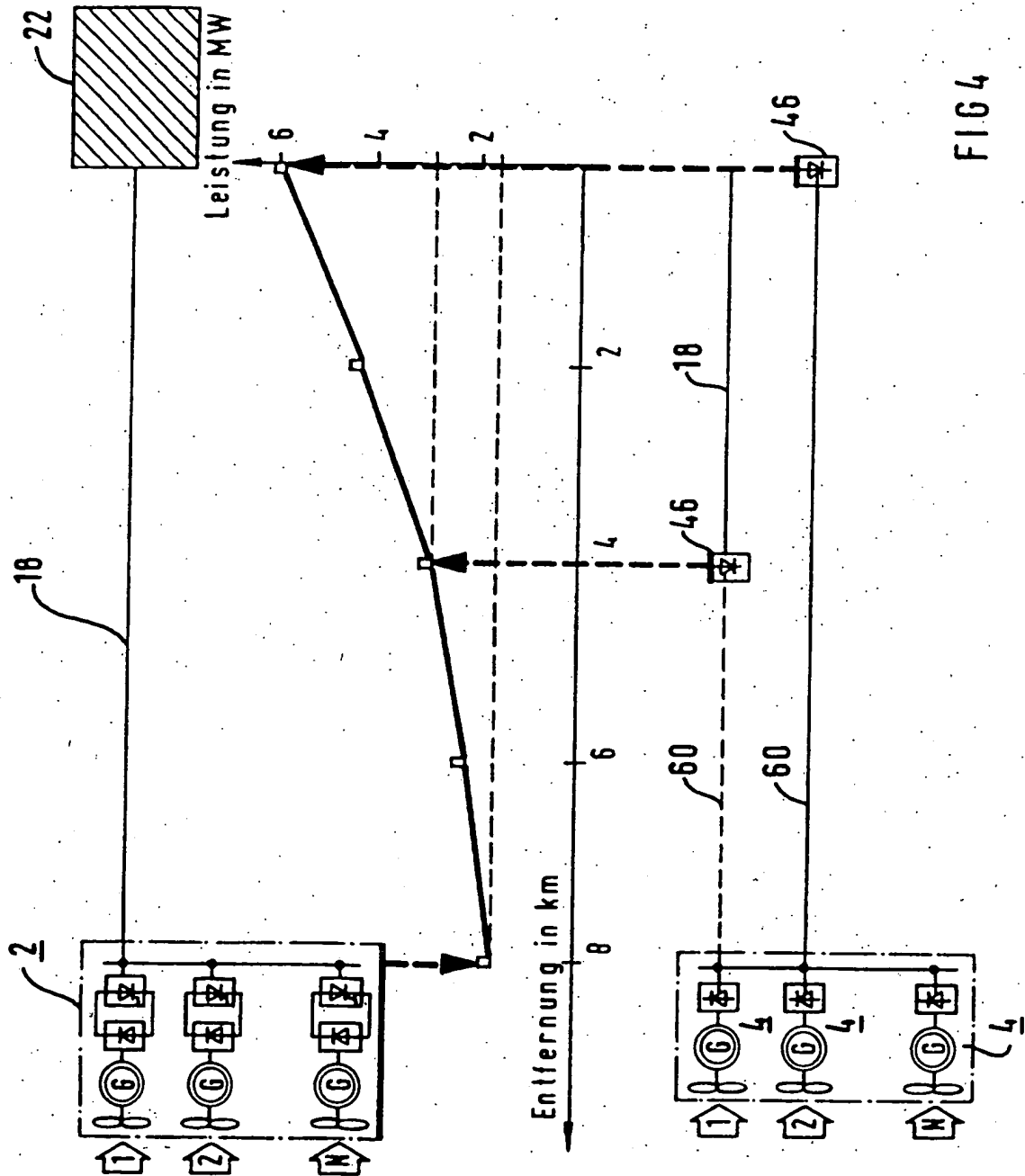


FIG 3

4/8



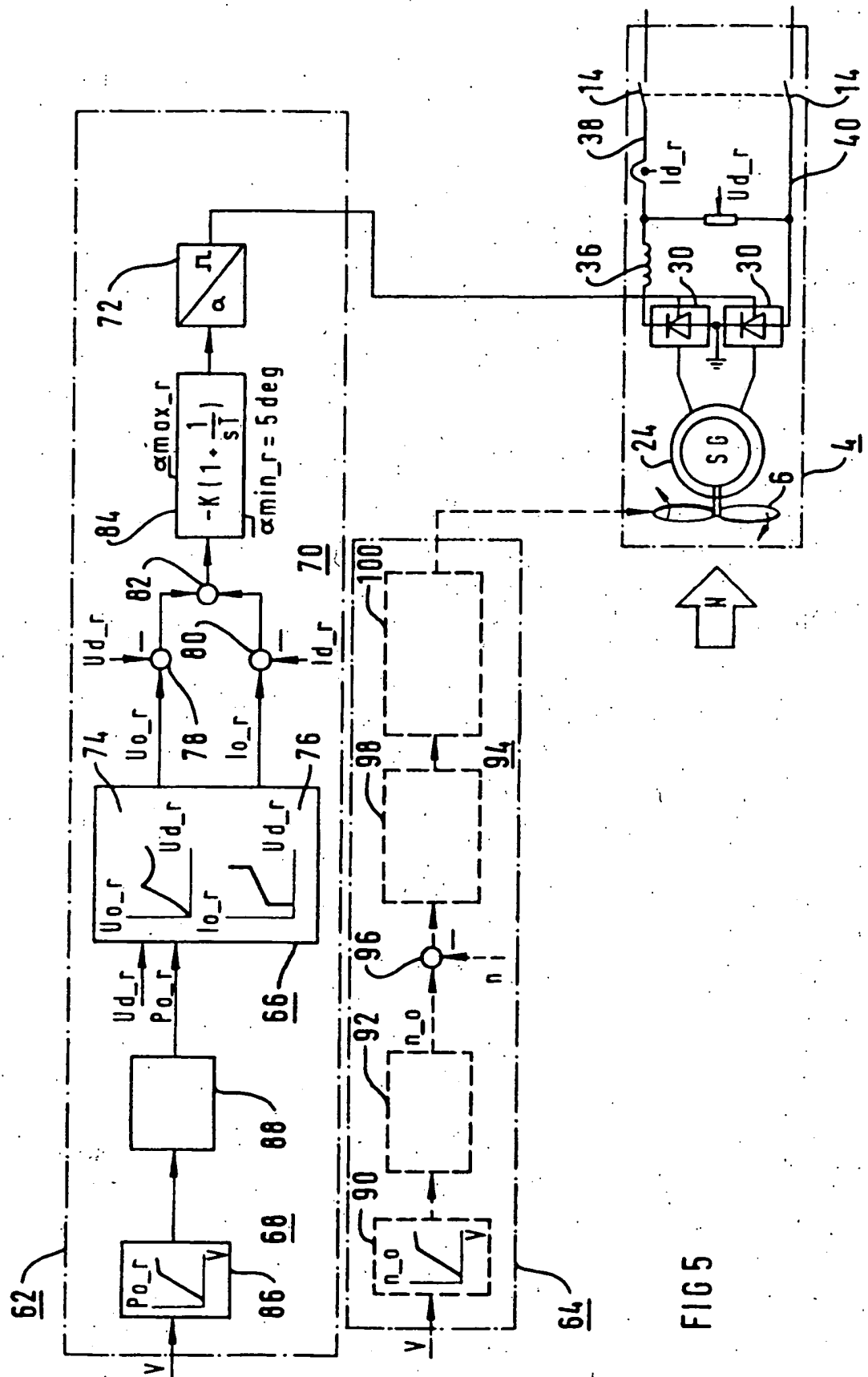


FIG 5

6/8

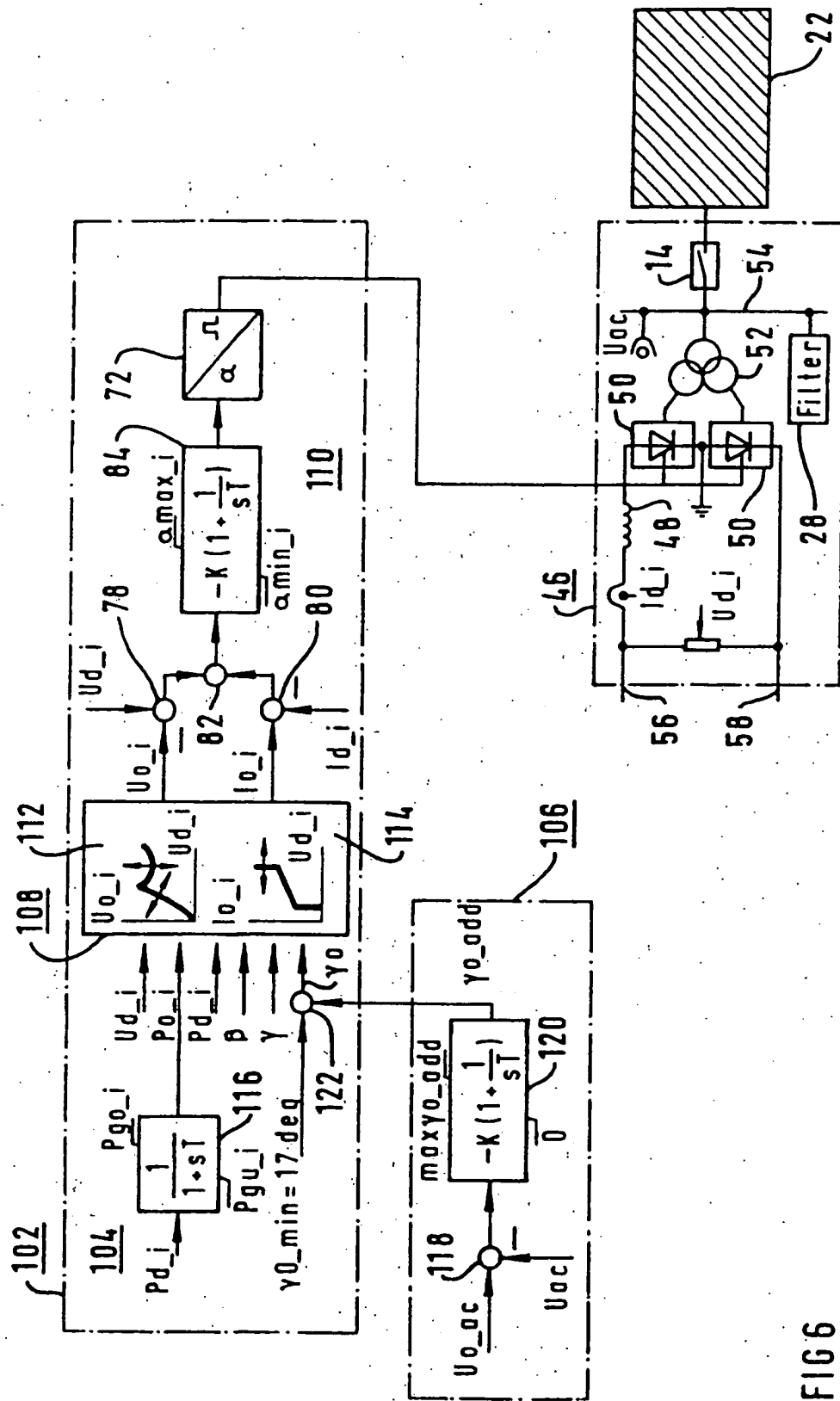
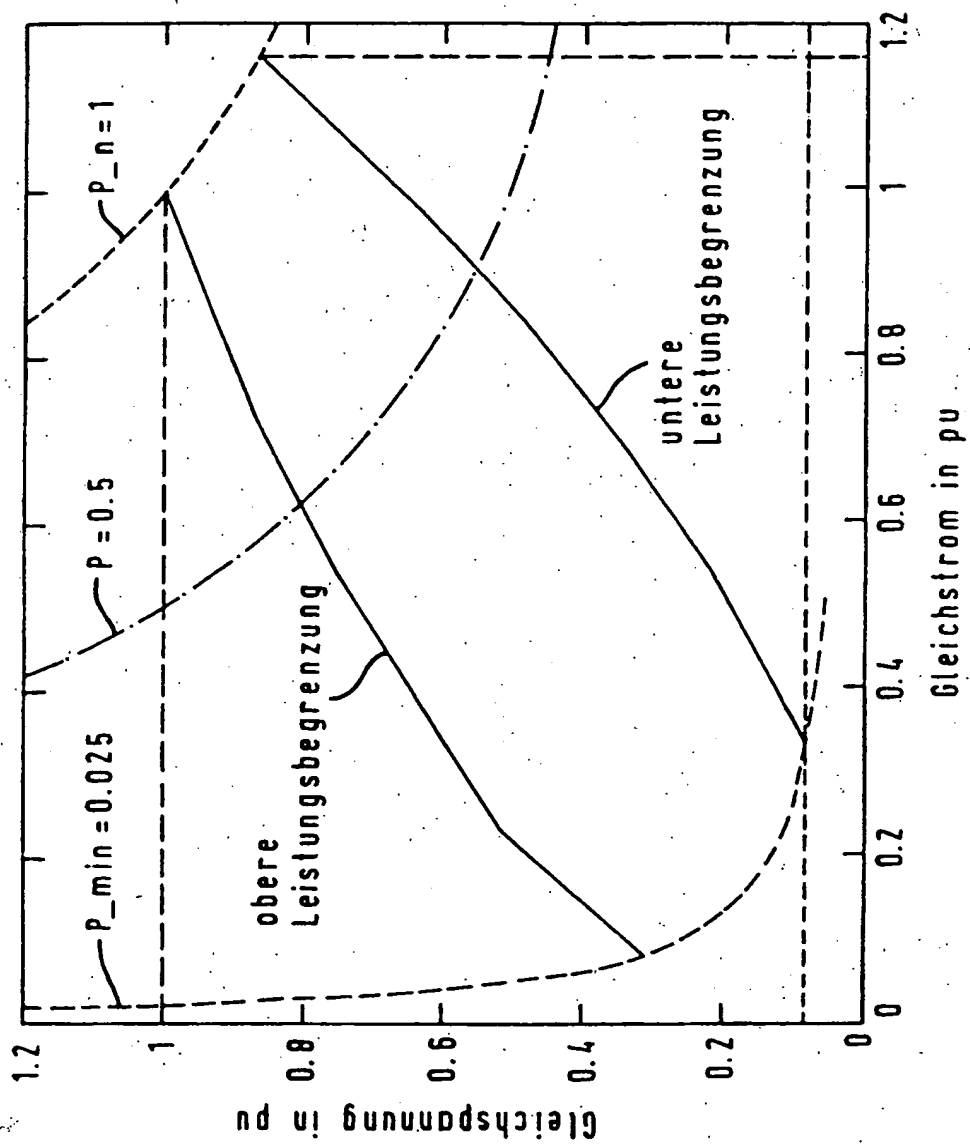


FIG 6

7/8

FIG 7



8/8

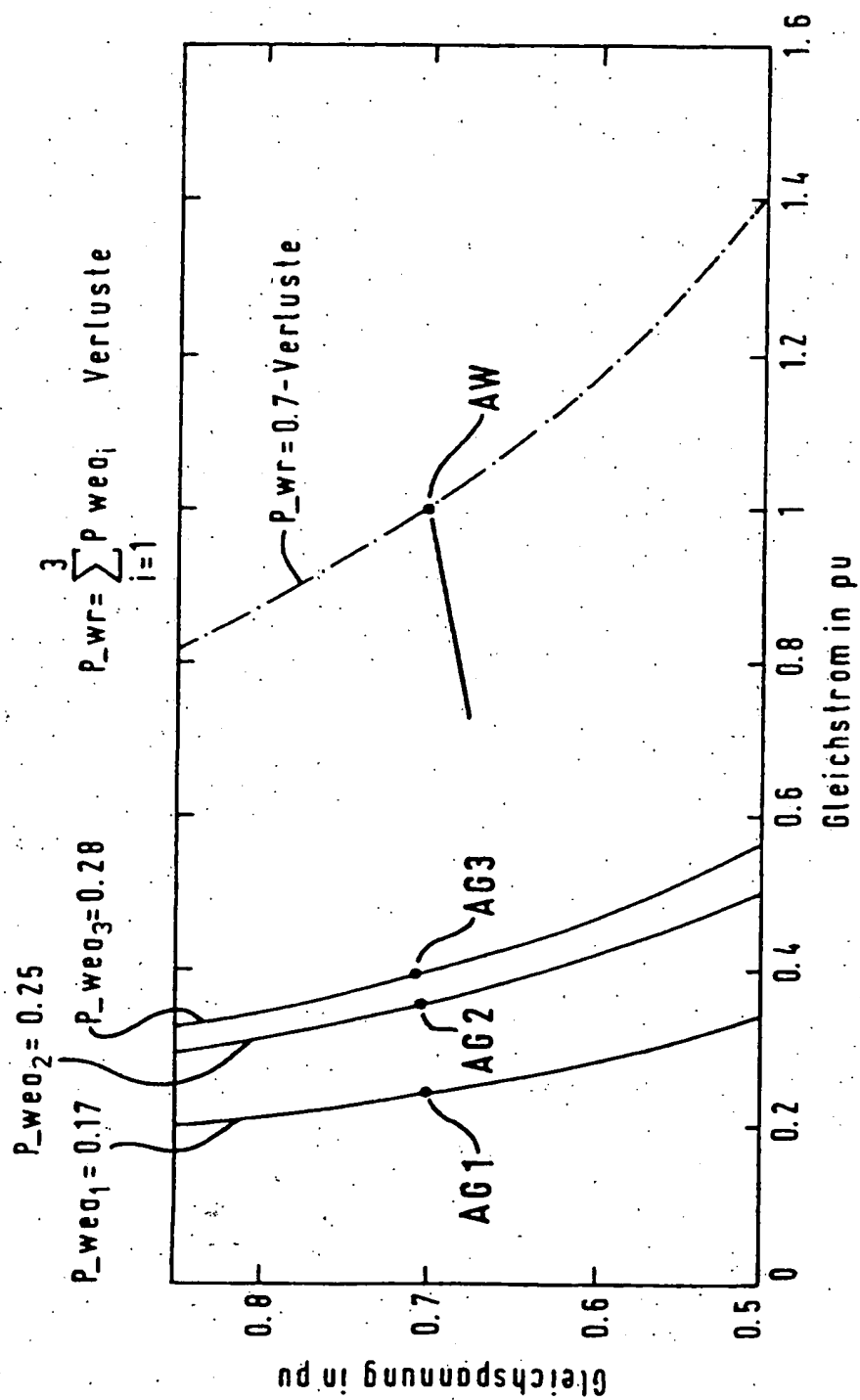


FIG 8

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 97/01008

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 6 H02J3/38 H02J3/36

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 H02J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 42 32 356 A (INST SOLARE ENERGIEVERSORGUNGS) 31 March 1994 see the whole document	1-15
A,P	DE 195 44 777 C (SIEMENS AG) 5 December 1996 cited in the application see the whole document	1-15
A	"Bedingungen für den Anschluss von Windenergieanlagen an ein regionales Elektroenergie-Versorgungsnetz" ELEKTRIE, vol. 49, 1995, BERLIN, DE, pages 249-253, XP002040737 cited in the application see the whole document	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 September 1997

Date of mailing of the international search report

29.09.97

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Moyle, J

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 97/01008

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4232356 A	31-03-94	NONE	
DE 19544777 C	05-12-96	AU 1765797 A WO 9720373 A	19-06-97 05-06-97



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE 97/01008

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 H02J3/38 H02J3/36

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 6 H02J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 42 32 356 A (INST SOLARE ENERGIEVERSORGUNGS) 31. März 1994 siehe das ganze Dokument	1-15
A,P	DE 195 44 777 C (SIEMENS AG) 5. Dezember 1996 in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument	1-15
A	"Bedingungen für den Anschluss von Windenergieanlagen an ein regionales Elektroenergie-Versorgungsnetz" ELEKTRIE, Bd. 49, 1995, BERLIN, DE, Seiten 249-253, XP002040737 in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument	1-15

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- \* A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \* E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \* L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \* O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \* P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\* T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\* X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\* Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\* &\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

15. September 1997

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

29. 09. 97

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+ 31-70) 340-1016

Bevollmächtigter Bediensteter

Moyle, J

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int: nales Aktenzeichen

PCT/DE 97/01008

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4232356 A	31-03-94	KEINE	
-----			
DE 19544777 C	05-12-96	AU 1765797 A	19-06-97
		WO 9720373 A	05-06-97
-----			